

University of Groningen

Iron nanoparticles by inert gas condensation

Xing, Lijuan

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:

2018

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Xing, L. (2018). *Iron nanoparticles by inert gas condensation: Structure and magnetic characterization*. [Thesis fully internal (DIV), University of Groningen]. University of Groningen.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

Samenvatting

Magnetische nanodeeltjes zijn van groot belang voor onderzoekers uit een breed scala van disciplines, zoals katalyse, magnetische gegevensopslag, grondwatersanering en biomedische geneeskunde. IJzer, met een hoge verzadigingsmagnetisatie en overvloedige aanwezigheid op aarde, is een van de meest aantrekkelijke kandidaten. De magnetische eigenschappen van ijzeren nanodeeltjes zijn dramatisch anders dan de eigenschappen van de bulk. Het magnetische moment per atoom, in gebieden nabij de oppervlakte, verandert drastisch met de afstand van het oppervlak als gevolg van de vernauwing van de band als gevolg van verminderde coördinatie aan het oppervlak, hetgeen vervolgens leidt tot een verbeterd moment. De door verkleining geïnduceerde eigenschapsaanpassingen worden eindige-afmetingen effecten genoemd die hoofdzakelijk op twee kritieke punten worden belichaamd: de limiet voor een enkel domein en de superparamagnetische limiet.

Grote ijzerdeeltjes nemen een structuur met meerdere domeinen aan, waarbij gebieden met uniforme magnetisatie worden gescheiden door domeinwanden. Wanneer de omvang wordt gereduceerd tot onder een kritisch volume, dat wil zeggen de limiet van het enkele domein, meestal in het bereik van enkele nanometers, kost het meer energie om een domeinmuur te maken dan om de externe magnetostatische energie van de enkele domeinstaat te ondersteunen, waardoor een enkelvoudige domeinstructuur ontstaat. Verdere afname van de deeltjesgrootte (volume) resulteert in reductie van de anisotropie-energie en de nanodeeltjes verschuiven naar de superparamagnetische toestand. Dit gebeurt wanneer de barrière-energie een nadeel heeft in de competitie met thermische energie, waarbij het nanodeeltje zich gedraagt als gigantische magnetische pseudo-atomen met een enorm algemeen magnetisch moment en "collectieve spin". In dit opzicht is controle over de grootte een van de meest cruciale en effectieve middelen om de magnetische eigenschappen van nanodeeltjes te manipuleren.

Daarom bestudeerden we in hoofdstuk 3 de gecontroleerde synthese van ijzeren nanodeeltjes door condensatie met inert gas. De nanodeeltjes worden gevormd door een éénkristal-ijzerkern, zoals uit uitgebreide analyse blijkt, en een polykristallijne schil (Fe_3O_4 en / of $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$). De deeltjesgroottes hangen sterk af van de gasomgeving in de clusterbron, waar het gebruik van helium resulteert in de afname van de grootte als gevolg van de hoge thermische geleidbaarheid van

helium. We observeerden intussen verschillende vormen van nanodeeltjes, waaronder normale en getrunceerde kubische deeltjes, evenals regelmatige en afgeknotte rhombische dodecaëders, die werden gevormd afhankelijk van de verhouding van de groeisnelheid langs de $\langle 100 \rangle$ en de $\langle 110 \rangle$ richting. De verschillende deeltjesvormen kunnen leiden tot verschillende kristallografische oppervlakken die het deeltje omsluiten met verschillende atoomdichtheden, elektronische structuren en atomaire bindingen, die bijdragen aan verschillende fysische en chemische eigenschappen. Bovendien werd gevonden dat ijzeren nanodeeltjes verschillende morfologieën aannemen, afhankelijk van de grootte. Kubische vormen zijn overheersend onder nanodeeltjes met een grootte $\sim 15\text{-}24$ nm. Voor deeltjes groter dan ~ 24 nm, is de meest stabiele structuur een rhombische dodecaëder. Niettemin konden ook getrunceerde rhombische dodecaëders en kubieke vormen zonder truncatie worden waargenomen. De facetten van ijzeren nanodeeltjes zonder truncatie vertonen een karakteristieke inwaartse relaxatie, wat aangeeft dat naast thermodynamica ook kinetiek een cruciale rol speelt tijdens de deeltjesgroei.

Verder worden, om de bereikbare deeltjesgrootte te verkleinen, beschermende steunplaten gepositioneerd tussen het ijzer-doel en de magnetron, en dienen als afstandhouders om de configuratie van het magnetische veld boven het doeloppervlak te modificeren. De afname van de deeltjesgrootte kan worden toegeschreven aan een verminderde effectieve magnetische veldsterkte in combinatie met een verzwakte magnetische veldopsluiting. De afgezette ijzerdeeltjes met afmetingen kleiner dan ~ 15 nm bezitten verschillende morfologieën van de gefacetteerde vormen aangenomen door grotere deeltjes, dat wil zeggen ze vertonen een bijna-bolvormige veelvlakkige vorm met een kernschil-structuur voor deeltjes met een afmeting van $\sim 8\text{-}15$ nm, en een volledig geoxideerde uniforme bolvormige structuur met een holte in het midden voor deeltjes kleiner dan ~ 8 nm.

Ten slotte is het in beeld brengen van afzonderlijke ruimtelijk gelokaliseerde magneten op nanoschaal belangrijk, niet alleen voor de fundamentele fysica van nanomagnetisme, maar ook voor toepassingen. Daarom werd magnetische krachtmicroscopie gebruikt om de magnetische eigenschappen en structuur van individuele ijzeren nanodeeltjes met groottes $\sim 50\text{-}70$ nm te bestuderen. De omkering van de magnetische contrasten verzameld met tegengestelde punt-polariteiten bevestigt de ferromagnetische toestand van de bestudeerde nanodeeltjes en de waargenomen heldere en donkere contrasten komen overeen met een structuur met één domein. Bovendien werd de magnetisatieoriëntatie theoretisch nagebootst, waar zowel het deeltje als de magnetische punt

gemodelleerd werden als puntdipolen. Het niet-rechthoekige traject van de scantip, afkomstig van de scherpe topografische kenmerken van de nanodeeltjes in combinatie met de vorm van de scantip-apex, resulteert in extra zijcontrasten waargenomen in de fasebeelden. De bepaling van de restantmagnetisatie-oriëntatie van nanodeeltjes is van belang in een groot aantal toepassingen waarbij de magnetisatie van geïsoleerde nanodeeltjes op een oppervlak nodig is.

